

Jozef Balogh, Jaroslav Džmura, Jaroslav Petráš

Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach

Kapacitné snímače čiastkových výbojov

Abstrakt. Sledovanie aktivity čiastkových výbojov v izolačných systémoch elektroenergetických zariadení vysokého napätia vyžaduje použitie metód priamej galvanickej metódy ako najčastejšie používanej alebo alternatívne aj doplnujúce metódy, ako sú nepriama induktívna alebo akustická. Pre meranie nepriamou metódou je možné použiť senzory induktívne alebo kapacitné. V článku sú popísané kapacitné sondy využívané pre túto metódu.

Abstract. Partial discharge activity monitoring in high voltage electric power device insulation systems requires usage of direct galvanic method which is used most widely or some alternative methods, used as supplementary methods such as indirect inductive or acoustic method. Indirect method requires inductive or capacitance sensors. This paper describes such capacitance sensors and their usage in this method.

Kľúčové slová: kapacitný snímač, čiastkový výboj.

Keywords: capacitive sensor, partial discharges.

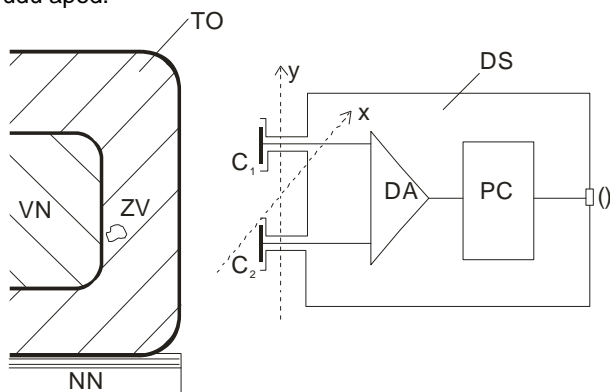
Úvod

Meranie čiastkových výbojov a výbojovej aktivity v izolačných systémoch patrí je často používaná metóda diagnostiky izolačných systémov.

Jedným z typov senzorov čiastkových výbojov používaných pri nepriamej metóde sú kapacitné sondy. Signály vyžiarené čiastkovými výbojmi v defektnom mieste izolačného systému vyvolávajú vznik rýchlych prechodných javov v elektrickom poli. Prechodné javy podobne, ako čiastkové výboje trvajú rádovo nanosekundy a tieto ďalej musia byť spracované prístrojmi meracieho obvodu. Elektrické pole je snímané senzorom, ktorý tvorí kapacitná sonda zapojená na vstup rýchleho diferenciálneho zosilňovača. Vstup zosilňovača je navrhnutý takým spôsobom, aby boli v maximálnej možnej miere potlačené vplyvy cudzích polí (obr. 1) [2].

Aplikácia kapacitných senzorov

Použitie kapacitných snímačov je rovnaké ako u induktívnych sond lineárneho typu. Kapacitné snímače umožňujú s vysokou presnosťou aj lokalizovať defektné miesto najmä v systémoch s epoxidovou izoláciou ako sú cievky vn strojov, suché transformátory, meniče napätia a prúdu apod.



Obr.1 Princíp aplikácie kapacitného senzora

TO - testovaný objekt

DA - diferenciálny zosilňovač

VN - vysokonapäťová elektróda

PC - jednotka spracovania signálu

NN - zemná elektróda

I - vysokonapäťová izolácia

ZV - zdroj čiastkových výbojov

DS - diferenciálna sonda

Naše výskumné experimenty sledovali správanie sa dvoch kapacitných sond:

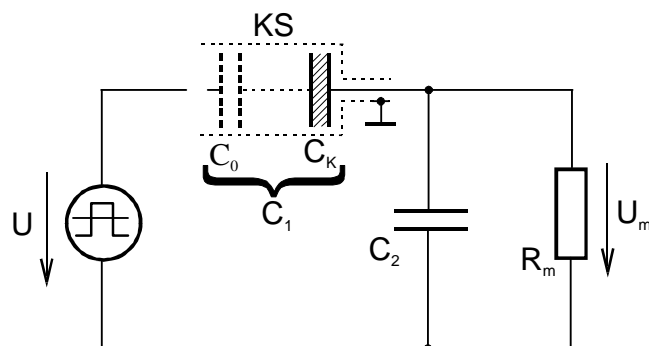
1. Kapacitná sonda terčíková KST – kondenzátor je vytvorený terčíkom z (Cu) elektródy, ktorý so skúmanou izoláciou (kábel) a jej kovovým jadrom predstavuje kapacitu s prípadným defektným miestom.

2. Kapacitná sonda KS – miesto kovovej elektródy má osadený keramický kondenzátor diskového tvaru s kapacitou 2000pF. Pre tento účel sú vhodné kondenzátory vyrobené z materiálu s vysokou relatívnou permitivitou (typu PERMITIT). Týmto sa upravujú elektrické vlastnosti vstupného pasívneho člena. Kondenzátorový disk obojstranne pokovovaný (Ag) umožňuje meranie priamym dotykom na uzemnenú časť vn.

Teoretická analýza modelu kapacitného senzora

Pri matematicko-fyzikálnej analýze snímačov čiastkových výbojov vychádzame z ich jednoduchých modelov, zostavených z diskretných RC prvkov. Predpokladáme pritom, že defektné miesto vyžaruje reálnu zložku intenzity elektrického poľa (E) ako aj poľa magnetického (H), úmerné veľkosti amplitúdy prúdového impulzu odpovedajúceho čiastkovému výboju.

Náhradná schéma obvodu pozostáva z fiktívneho zdroja signálu U zo vstupnej RC časti nábojového zosilňovača, ako aj zo samotného nábojového zosilňovača. Jadro obvodu pritom tvorí kapacitná sonda C_1 (obr. 2).



Obr. 2 Náhradná schéma obvodu kapacitného snímača

kde:

U – signál v tvare Diracovho impulzu vyvolaný defektným miestom

C_k - kapacita kondenzátorového snímača,

C_0 - kapacita medzi snímačom a skúmaným objektom,

C_2 - vstupná kapacita zosilňovača ($C_2 = 25 \text{ pF}$),

R_m - vstupný odpor zosilňovača ($R_m = 1 \text{ M}\Omega$)

Na obr. 2 je zobrazený prípad, kedy je kondenzátorová sonda o kapacite C_k umiestnená nad meraným objektom, čím sa vytvára kapacita C_0 (vzduchová medzera, čiastková kapacita izolácie a pod.). Výsledná kapacita C je daná sériovým zapojením oboch kondenzátorov.

Prenosová funkcia zjednodušeného usporiadania podľa obr. 1 v komplexnom tvare bude:

$$(1) \quad \frac{u_m}{u} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \frac{1}{1 + \frac{1}{j\omega R_m (C_1 + C_2)}}$$

Vstupné parametre zosilňovača sú spravidla: ($C_2 = 25 \text{ pF}$), ($R_m = 1 \text{ M}\Omega$). Hraničnú frekvenciu f_h obvodu vyjadríme vzťahom:

$$(2) \quad f_h = \frac{1}{2\pi R_m (C_1 + C_2)}$$

kde $R_m(C_1 + C_2) = \tau$.

Úpravou komplexného výrazu (1) získame rovnicu prenosovej funkcie pre pomer napätí:

$$(3) \quad \frac{U_m}{U} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \omega\tau \sqrt{\frac{1}{1 + (\omega\tau)^2}}$$

Odvođený výsledok poukazuje na to, že napätie na snímačom člene $R_m - C_2$ je určené okrem amplitúdy signálu U aj súčiniteľom $2\pi f R_m (C_1 + C_2)$.

Vychádzajúc z našich výpočtov a z experimentálnej práce, pracovná oblasť frekvencie leží v rozsahu $10^5 - 10^6 \text{ Hz}$ za podmienky, že volíme kombinácie kapacít $C_1 + C_2$ od $10^{-8} - 10^{-11} \text{ F}$ pri vstupnom odpore širokopásmového zosilňovača $R_m > 10^6 \Omega$.

Odpoveď kapacitného senzora na signály kalibrátora

Experimentálne merania čiastkových výbojov si vyžadujú pred meraním na ľubovoľnom objekte vykonať jeho testovanie. Bol preto vytvorený vodič (anténa), do ktorého po impedančnom prispôbení bol injektovaný signál z profesionálneho kalibrátora.

Boli použité tri typy kalibrátorov:

- TETTEX typ 0216 s rozsahom $10 - 100 - 1000 - 10000 \text{ pC}$,

- kalibrátor TUR typ PET2 s rozsahom $5 - 25 - 50 - 250 \text{ pC}$,

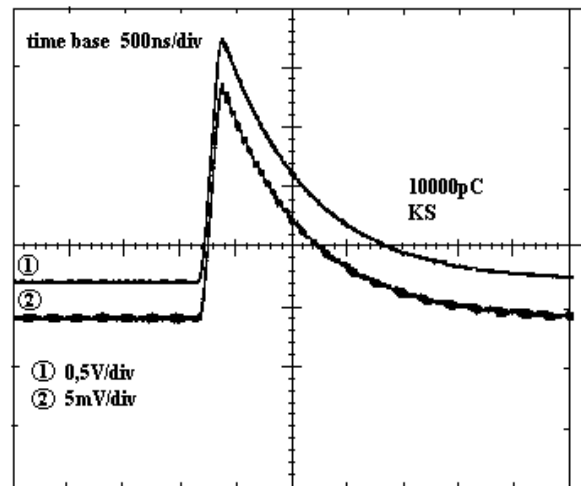
- kalibrátor, vyvinutý na našom pracovisku s rozsahom $25 - 50 - 75 - 100 - 250 - 500 - 1000 - 7500 - 10000 \text{ pC}$.

Odozvy z tvarov impulzov kalibrátora TETTEX typ 0216 Zürich sú znázornené na obr. 3 a obr. 4.

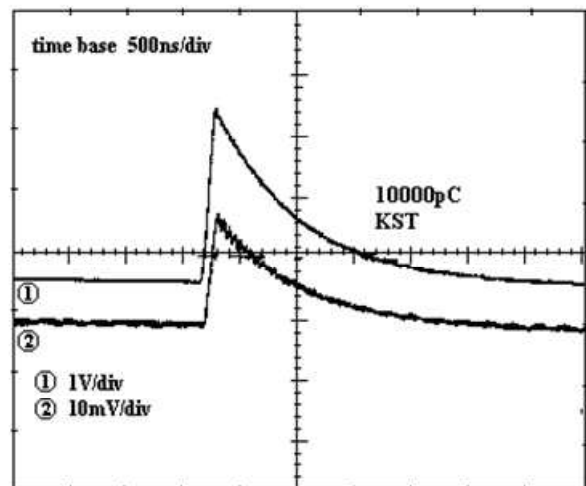
Testovanie bolo realizované na už popísaných senzoroach:

- kapacitnej sonde s dielektrikom s $\epsilon_r = 500$ (skratka KS),
- kapacitnej sonde s Cu terčíkom (skratka KST).

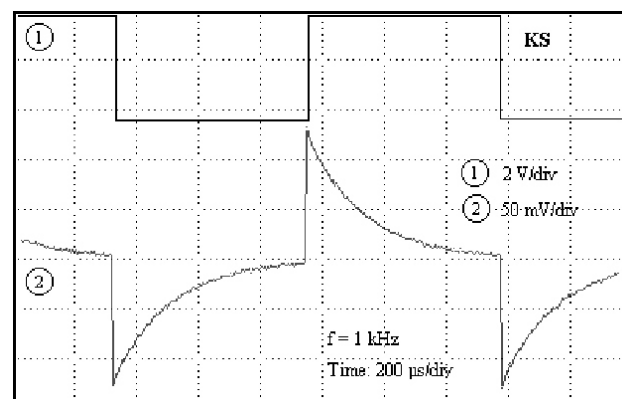
Ak porovnáme zachytený signál voči vnútenému, vidíme, že vnútený signál zodpovedá zachytenému signálu, pričom hodnota výstupného signálu je vyššia pri použití kondenzátorového terčika (KS) voči terčiku s Cu (KST).



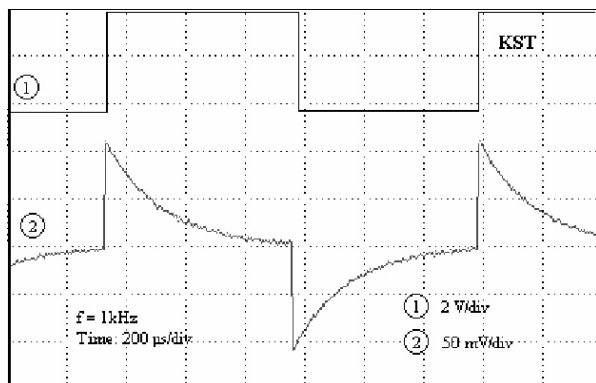
Obr. 3 Tvar impulzu kalibrátora meraný sondou KS, 1) injektovaný impulz, 2) odpoveď na injektovaný impulz



Obr. 4 Tvar impulzu z kalibrátora meraný sondou KST, 1) injektovaný impulz 2) odpoveď na injektovaný impulz



Obr. 5 Tvar a odozva signálu typu Diracovho impulzu na výstupe sondy KS

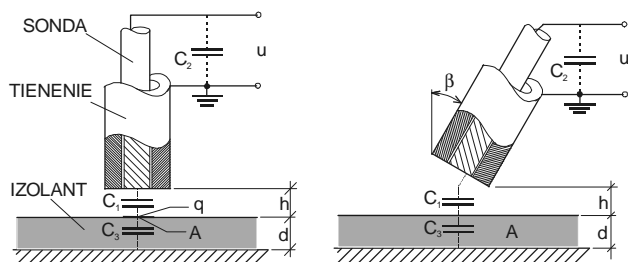


Obr. 6 Tvar a odozva signálu typu Diracovho impulzu na výstupe sondy KST

Tvar a odozva signálu typu Diracovho impulzu na výstupe kapacitnej sondy je znázornená obr. 5 a obr. 6.

Meranie v závislosti od polohy sondy

V praxi sa často stretávame s problémom na zakrivenom (nerovnom) povrchu. Vtedy sa nemôžeme vyhnúť natočeniu sondy do nejakého uhla β oproti kolmému uloženiu vzhľadom k povrch. Takáto situácia je zobrazená na obr. 7.



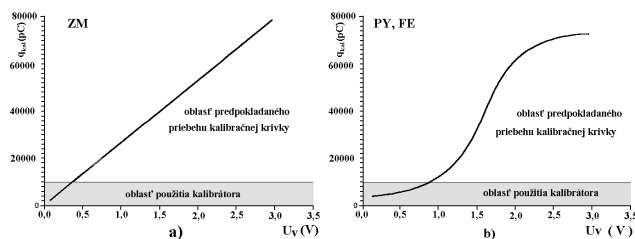
Obr. 7 Poloha senzora vzhľadom k povrchu

Ak porovnáme tieto dva obrázky, vidíme, ekvivalentné náhradné zapojenie ostáva rovnaké. S uhlom β by sa ale mohla meniť veľkosť meranej plochy A , a teda aj kapacity C_1 a C_3 . Na overenie týchto predpokladov boli vykonané testy na rovnakých vzorkách. Hodnoty C_1 , C_3 a A boli určené ako funkcia uhla β . Bola na to použitá dvojkrová metóda. Z týchto pozorovaní vyplynulo, že 30° je odchýlka menšia ako rozptyl vo výsledkoch. Do 45° , čo by bol extrémny prípad pri meraní, odchýlka nepresahuje 15%. S istotou môžeme teda povedať, že meranie pod uhlom nepredstavuje pre meranie vážne problémy.

Kalibrácia meracej zostavy

Kalibrácia je neoddeliteľnou súčasťou merania. Určí sa ňou závislosť medzi zdanlivým nábojom (pC) častkových výbojov a veľkosťou amplitúdy nasnímaného napätia (V) jednotlivých nameraných výbojov. Kalibrácia je založená na injektovaní náboja známej veľkosti z kalibrátora častkových výbojov do meraného objektu a následnom zaznamenaní veľkosti amplitúdy snímacím obvodom. Objekt musí byť odpojený od testovacieho napätia. Z nameraných hodnôt je potrebné urobiť kalibračné krivky, čiže závislosť $q=f(U)$.

Predpokladaný priebeh kalibračných kriviek pri nepriamej metóde v porovnaní s priamou metódou je na (obr. 8).



Obr. 8 Predpokladané priebehy kalibračných kriviek (ak $q_{kal} > 10000pC$) pri priamom a b) nepriamom spôsobe snímání častkových výbojov [2].

Pri použití priamej (galvanickej) metódy majú kalibračné krivky lineárny priebeh. Pri meraní nepriamou (induktívnou) metódou majú nelineárny priebeh. Nelinearita je daná vlastnosťami použitých funkčných materiálov u jednotlivých sond [1].

Záver

Kapacitné senzory tak ako sú popísané, je možné použiť pre účely merania aktivity častkových výbojov nepriamou metódou ako alternatívny spôsob k meraniu pomocou induktívnych sond. Opísali sme spôsob ich aplikácie a následne teoreticky analyzovali model takejto sondy, aby sme mohli matematicky určiť charakteristiky sondy. Bol skúmaný aj vplyv polohy sondy k meranému objektu.

Literatúra

- [1] Kršňák, I.: Detekcia častkových výbojov a analýza vypovedacích veličín, Doktorská dizertačná práca, Košice, 1996
- [2] Lemke, E., Schmiegel, P.: Progres in PD-probe Measuring Technique, 7-th ISH, Dresden., 1991, Part 72.01
- [3] Marton, K.: Teoretická analýza induktívneho snímání častkových výbojov. KTVN, EF TU v Košiciach.
- [4] Marton, K. a kol.: Autorské osvedčenie č. 202 129, Úrad pro vynálezy a objavy, Praha, 1976.
- [5] Marton, K., Balogh, J.: Elektrofyzikálna analýza odozvy častkových výbojov modelovaných Diracovym impulzom. Zborník, Diagnostika 93, ZČU Plzeň, 1993.
- [6] Balogh, J.: Lineárne a toroidálne sondy a ich aplikácie v elektroenergetike, Písomná práca k rigoróznemu skúške, Košice 1997



Táto práca bola podporovaná Agentúrou Ministerstva školstva Slovenskej republiky pre štrukturálne fondy EÚ na základe projektu Vývoj unikátneho nízkoenergetického statického zdroja pre elektrosystémy (číslo projektu: 26220220029, prioritná os 2 Podpora výskumu a vývoja).

Autori: Jozef Balogh, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: jozef.balogh@tuke.sk

Jaroslav Džmura, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: jaroslav.dzmura@tuke.sk

Jaroslav Petráš, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: jaroslav.petrash@tuke.sk